BREVE ESBOZO DE ALGUNAS MEDITACIONES ACERCA DEL FUEGO

INMANUEL KANT

Introducción, traducción y notas de Cinta Canterla

Introducción: La Filosofía de la materia de Kant y la Química Newtoniana.

Pocas veces se ha llamado la atención sobre el interés mostrado por Kant en relación con la química y los trazos que la influencia de ésta dejó en su filosofía. Y sin embargo esa tarea es indispensable para llevar a cabo una adecuada interpretación de aquellos aspectos de su obra que nos resultan más oscuros. En concreto, por ejemplo, gran parte de la teoría de la materia inherente a la *Opus Postumum* sólo recibe una lectura adecuada una vez aclarada esta cuestión.

Pero no es sólo la filosofía de la materia lo que resulta esclarecido desde esta perspectiva, sino también lo que podrían llamarse aspectos místicos de la filosofía kantiana, pues el naturalismo que los sustentaba estaba directamente relacionado con el corpus químico.

Todavía en el S. XVIII la química mantenía la pretensión de constituir una especie de teoría general de la naturaleza (o, al menos, su fundamento), en la que medicina, zoología, botánica, filosofía, e incluso teología y mística acabasen ensamblando. Tanto su metodología como sus contenidos se hallaban penetrados de elementos de este naturalismo holista.

Ya he puesto de manifiesto en otro lugar (1) cómo el misticismo confesado por Kant en los *Sueños de un visionario* estaba relacionado con este naturalismo holista, del mismo modo que lo había estado en la tradición místico-alquímica alemana anterior a Böhme y en este mismo. Y también cómo esa tradición se perpetúa en el S. XVIII en las teorías antimecanicistas de la naturaleza articuladas en torno a la newtoniana, todas ellas vinculadas con el neoplatonismo, como lo estuvo la propia tradición de la mística alemana.

El texto que ahora nos ocupa es un exponente muy claro de en qué medida la filosofía kantiana de la materia estuvo en algunos momentos relacionada con las

DOI: http://dx.doi.org/10.25267/Cuad_Ilus_Romant.1991.i1.12

teorías de la naturaleza antimecanicistas –y más concretamente, con la llamada química newtoniana– con anterioridad a la *Crítica de la razón pura*. Difícilmente puede sostenerse que determinados contenidos de la *Opus Postumum*, los relativos al éter, por ejemplo, constituyen la consecuencia de un desarrollo de última hora de aquélla.

El tema que Kant eligió para habilitarse como profesor en la Facultad de Filosofía, el de la naturaleza del fuego, era uno de lo que en aquel momento ponían en cuestión los límites de la química. Pues según se hiciese del fuego, el aire o la luz sustancias materiales o meros instrumentos de los trabajos químicos, se los consideraba o no reactivos, siendo en el primer caso estudiados por la química.

Kant no dudó en absoluto, siguiendo a Boerhaave, que el fuego constituía una sustancia material. Pero a diferencia de éste afirmó también la materialidad del aire (defendida por Hales, al que también cita) y de la luz (como Newton hacía). Su aportación peculiar a la teoría del fuego consistirá en la identificación de la materia de éste con la de la luz, y de ambas con el éter, realizando una curiosa síntesis entre la filosofía de la materia contenida en la *Optica* de Newton y la de los *Elementa Chemiae* de Boerhaave (2).

En relación con el aire, Kant sostiene en su opúsculo, siguiendo en gran medida la química pneumática de Hales (3), la viabilidad de la hipótesis que hace de él un vapor muy sutil del ácido, afirmando a este último como verdadero *alimento del fuego* (4), con lo que obtenía así una explicación coherente de la necesidad de la presencia del aire en el fuego-combustión, que Boerhaave no acabó de encontrar.

Newton, Boerhaave y Hales, las fuentes del *De Igne* de Kant, tenían en común sostener una filosofía de la materia claramente antimecanicista, a la que el filósofo alemán se había adherido desde su primer escrito. La filosofía natural del primero permitió a la química representada por los segundos desprenderse de los presupuestos mecanicistas y vivir lo que se ha dado en llamar su "sueño newtoniano". Pues la cosmología de Newton, al proclamar la identidad entre el mundo estelar y el sublunar, permitía trasladar a la explicación de los fenómenos terrestres –incluídos los químicos– los principios válidos para los celestes.

Durante el s. XVII, la química, siguiendo la hipótesis mecanicista, aspiraba a reducir a combinaciones variadas de figuras y movimientos todas las reacciones materiales estudiadas. El sistema newtoniano del mundo ponía en cuestión esa química mecanicista del XVII debido a varias de sus afirmaciones:

1. Identificaba cantidad de materia y peso, mientras que los cartesianos, por ejemplo, la asimilaban a la extensión.
2. Atribuía a los corpúsculos, como a los astros, una propiedad no mecánica, la atracción a distancia, que venía añadirse a las propiedades mecánicas, las únicas reconocidas por sus adversarios.

3. Oponiéndose a las hipótesis de Descartes y Huyghens, admitía la naturaleza corporal de la luz y la dotaba de masa, la sometía a la ley de la atracción universal y la hacía jugar el papel de reactivo en las combinaciones químicas.
4. Sin combatir el atomismo, defendía la experimentación frente a hipótesis que explicaban con todo lujo de detalles reacciones corpusculares que la observación sensible no tenía ningún medio de verificar (5).

En cambio, esta misma cosmología parecía venir a respaldar a aquella otra química que, muy emparentada con las corrientes místicas y alquímicas del Renacimiento, creía poder explicar las combinaciones de elementos a partir de una teoría de las afinidades (6). En lo que a Alemania se refiere, esta química estaba representada por Stahl, cuyos seguidores fueron, junto con Boerhaave y los suyos, los máximos representantes de la química newtoniana, que confiaba en poder dar una explicación de las combinaciones químicas basándose en los distintos grados de atracción de las sustancias (7).

El texto que Kant presentó a la Facultad de Filosofía se mueve claramente en el contexto de la química newtoniana. Su breve esbozo acerca de una teoría sobre el fuego guarda en sus contenidos una estrecha afinidad con el apartado "De Igne" de los *Elementa Chemiae* de Boerhaave, del que extrae también algunas de sus referencias; pero no es, ni mucho menos, simplemente una exposición de las teorías de este último. Kant está claramente al día en lo que a la cuestión respecta, como lo muestran las restantes fuentes que cita; y lo que es más importante: es consciente de que lo que en el fondo se discute es una determinada teoría de la materia.

La hipótesis que en relación al fuego él realiza –y que vuelve a aparecer en los *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza*– tiene como contexto la filosofía de la materia que posteriormente será expuesta de un modo sistemático en la *Monodología física* y que vuelve a aparecer en los *Principios metafísicos* mucho más depurada. En ella dota a las mónadas o partículas elementales activas de las fuerzas de atracción y repulsión, explicando la distinta naturaleza de los cuerpos por la diferente cualidad de sus elementos constituyentes, cuyas propiedades más generales (fuerza de atracción y repulsión, fuerza de inercia y elasticidad) varían según el tipo de mónadas (8).

La concepción material del fuego del *De Igne* se mantiene en la *Monadología*, en donde lo sigue identificando con el éter, (9) y en los *Principios*. En esta última obra Kant muestra cómo su teoría de la materia sirve también para explicar los fenómenos químicos, y ve en la penetración de los cuerpos por la materia del fuego un caso concreto –modélico– de la penetración química de las sustancias. Incluso cree que podría pensarse de la misma manera "...el aparente tránsito libre de ciertas moléculas a través de otras, por ejemplo, de la materia magnética". Lo único que cambia en relación al texto del *De Igne* es que, aunque el fuego siga siendo considerado una materia, su relación con las partículas de los cuerpos dejará de plantearse de una

manera mecánica para pensarse también química: ya no ocupará el espacio vacío entre partículas, sino que ocuparía conjuntamente con ellas un mismo espacio. A esto es a lo que Kant llama disolución absoluta o penetración química:

> "Esta penetración química podría encontrarse igualmente allí donde una de las dos materias no está precisamente separada y literalmente disuelta por la otra. Es así como la materia del calor penetra los cuerpos, puesto que, si sólo se distribuyera en los intervalos vacíos, entonces la sustancia sólida misma permanecería fría, porque no podría absorber nada del calor. Se podría incluso pensar un aparente tránsito libre de ciertas moléculas a través de otras, por ejemplo, de la materia magnética, sin haber preparado para este propósito conductos abiertos o intervalos vacíos en todas las materias, igualmente las más densas. Sin embargo, no es este el lugar para establecer hipótesis que expliquen fenómenos particulares, sino simplemente para descubrir el principio por el que deben juzgarse todos los fenómenos. Todo lo que nos dispense de la necesidad de tener que recurrir a los espacios vacíos es una ganancia real para la ciencia de la naturaleza, pues estos espacios dan demasiada libertad a la imaginación, para reemplazar por la ilusión la carencia del conocimiento interno de la naturaleza" (10).

Así pues, la concepción material del fuego que aparece en el *De Igne* no queda relegada al período precrítico, sino que vuelve a aparecer posteriormente (11).

Ahora bien, esta concepción del fuego como materia ígnea, que, según todos los indicios, Kant toma de Boerhaave, presenta en 1766 unas peculiares características que voy a analizar a continuación con más detenimiento. Boerhaave no compartía la explicación mecánica dada por Descartes al problema del calor: para este último, el fuego que se muestra a los sentidos en los objetos calientes es resultado de una agitación más o menos intensa de las partículas que componen los cuerpos. Pero al naturalista holandés, en cambio, más que el calor propiamente dicho le interesa especialmente el fenómeno de la dilatación, que le parece más objetivo (12). Y Kant lo sigue en este punto.

Puesto que los cuerpos que se calientan se dilatan a medida que son penetrados por el fuego, Boerhaave creyó razonable sostener que el fuego era corporal, impenetrable y extenso (13). Pero es más: teniendo en cuenta que no tiene más tendencia a ir hacia el centro de la tierra que hacia otro lado, como de hecho se muestra cuando se comunica de un cuerpo a otro que le está próximo, expándiendose igualmente a todos los cuerpos y en todas direcciones, creyó poder afirmar que, aunque como materia tuviese un volumen, su coeficiente de atracción sería cero, careciendo por tanto de peso. Una prueba para él de que la materia del fuego no tiene peso es que no aumenta el de los cuerpos que calienta (14).

Es por esta última característica por lo que la materia ígnea de Boerhaave se asemeja más a la materia sutil de Descartes que a la materia flogística de Stahl. Y quizá debido a ella por lo que Kant lo identifica con el éter y la materia de la luz.

Pero la teoría kantiana sobre el fuego no se limita a recoger las tesis de Boerhaave. Este último consideraba que la materia del fuego, a la que concebía uniformemente extendida por todo el universo, servía igualmente para explicar tanto el fuego-calor como el fuego-combustión, y lo mismo cree Kant, como puede verse en el texto. El calor queda explicado por la teoría del químico holandés como vibración o aceleración de la propia materia ígnea, que al alterar el equilibrio de las fuerzas de atracción y repulsión existente entre las partículas de un cuerpo en favor de las segundas, tiende a dilatarlo. Esa agitación se transmite por igual en todas las direcciones (15).

El fuego-combustión, por su parte, queda concebido como reacción que tiene lugar al entrar en contacto la materia ígnea con algún *alimento del fuego* o materia combustible (16). Esta reacción entre las partículas de una y otra materias provocan un movimiento vibratorio cada vez más intenso que acaba por despedirlas. Pero el peso de la atmósfera, al comprimir el cuerpo que arde, impide la liberación de esas partículas, con lo que, al aumentar la reacción, alarga la combustión.

Ahora bien, para Boerhaave el aire no interviene como reactivo en las combinaciones químicas y, al ser la combustión una reacción, tampoco en ella. Y es aquí donde Kant introduce su novedad de concebir al aire como reactivo, al definirlo como una especie de ácido, en concreto, "el vapor más sutil del ácido", y a este último como alimento propio del fuego. Lo que muestra que se había interesado por la teoría de las fermentaciones de Hales, apartándose en este punto de Boerhaave que veía en el alcohol presente en éstas la sustancia más próxima al ideal *alimento del fuego*.

Igualmente, y como ya hemos indicado, constituye una novedad respecto a Boerhaave la teoría kantiana del fuego en la identificación que realiza de este último con el éter y la materia de la luz. Esta identificación se halla también apuntada en otra obra que se remite a las mismas fuentes –Newton, Boerhaave, Hales– y que tiene muchos puntos en común (17), con el *De Igne* y con los posteriores *Träume:* el *Siris* de Berkeley.

La filosofía antimecanicista de esta obra del filósofo inglés, estrechamente emparentada con el neoplatonismo, permitía con toda facilidad levantar sobre ella –y Berkeley así lo hizo– una hipótesis panteísta y mística acerca del mundo. También lo permitía la filosofía de la materia antimecanicista de Kant y así lo puso de manifiesto en los *Träume.* Las especulaciones místicas en torno a una posible república moral a la que Kant se refiere en los *Träume* se asentaban en ese naturalismo antimecanicista, que se halla presente en el pensamiento de Kant desde su primer escrito. Pero esa peculiar articulación entre naturalismo y mística no quedaría relegada a este período de la producción kantiana. Ambos opúsculos, uno naturalista (el *De Igne*), el otro místico (los *Traüme*), contienen en germen lo que sería el objeto de las especula-

ciones de Kant en sus últimos días. Muchas de las cuestiones de la *Opus Postumum* se hallan anticipadas en ellos.

NOTAS A LA INTRODUCCION

(1) "Neoplatonismo, filosofía natural y misticismo: fuentes ocultas del romanticismo en el Kant precrítico". *Cuadernos de Ilustración y Romanticismo* I (1991), pp. 163 y ss.

(2) Esta identificación se hallaba también en el *Siris* de Berkeley, que utiliza como fuentes igualmente a Newton y Boerhaave. Cf. C. Canterla. "Mysticisme et antimecanisme dans le *Siris* de Berkeley et les *Rêves d"un visionnaire de Kant"*. En *Transactions of the Eighth International Congress on the Enlightenment.* Oxford, Voltaire Foundation, (en prensa).

(3) Cf., n. 24 a la traducción.

(4) Cf., n. 30 a la traducción.

(5) H. Metzger: *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique.*Paris, Blanchard, (1930) 1974, pp. 19 y 20.

(6) Cf. H. Metzger, *op. cit;* A. Koyré: *Mistiques, spirituels, alchimistes du XVI siècle allemand.* Paris, Gallimard, 1971; R.S. Westfall: "Newton y la alquimia", en *Mentalidades ocultas y científicas en el Renacimiento.* Madrid, Alianza (1984) 1990, pp.255 y ss; B.J.T. Dobbs: "Newton's alchemy and his 'active principle' of Gravitation", en P.B. Scheurer y G. Debrock (eds.): *Newton's scientific and philosophical legacy. Archives Internationales d'Histoire des Idées,* 123 (1988), pp. ss y ss.

(7) H. Metzger, *op. cit.*

(8) *Ak* I, 480 y ss.

(9) *Ak* I, 487.

(10) *Ak* III, 532 (1-15)

(11) Aunque según Adickes (*Ak* XIV 67, n. 1) la teoría del fuego del *De Igne* sería modificada en *Magnitudes negativas* haciendo del éter la materia del frío, lo cierto es que la identificación del éter con la materia del calor y de la luz se mantiene hasta la *Opus Postumum* (*of Ak* XXI 340 y *Ak* XXII (214).

(12) H. Boerhaave: *Elementa Chemiae,* Lugduni Batavorum, Isaacum Severinum (1732), pp. 132-133.

(13) Ibidem, pp. 386 y ss., 401.

(14) Ibidem, pp. 138-147, 187 y ss., 360-361.

(15) Ibidem, pp. 175, 142-143.

(16) Ibidem, pp. 402 y ss., 419.

(17) Cf. C. Canterla, "Misticisme et antimécanisme...".

BREVE ESBOZO DE ALGUNAS MEDITACIONES ACERCA DEL FUEGO

INMANUEL KANT

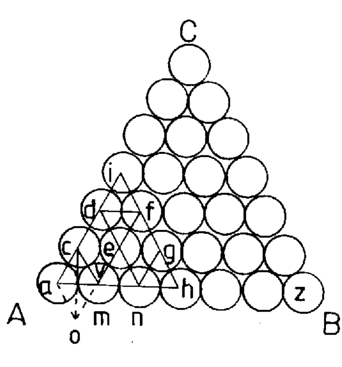
RAZON DEL PROYECTO

No es mi intención resolver en pocas palabras lo que daría materia suficiente para un volumen prolijo. Las meditaciones concisas que presento aquí como materia fecunda a la consideración benévola de la Magnífica Facultad de Filosofía no son sino un primer esbozo teórico que, si el tiempo lo permite, ha de darme el fruto de un tratado más amplio. Me he guardado mucho en ellas de ser tan descuidado como para exponer argumentos hipotéticos y arbitrarios, cosa que suele suceder; diligente, me he abandonado más bien, en la medida en que me ha sido posible, al hilo conductor de la geometría y la experiencia (1), sin el que es prácticamente imposible encontrar la salida desde los recovecos de la naturaleza. Y puesto que la fuerza del fuego se manifiesta en los cuerpos que se dilatan preferentemente deshaciendo el nexo interno de los mismos, he creído que no está de más hablar antes de la cohexión de la materia y de la naturaleza de los fluidos a fin de avanzar con método.

SECCION I
De la naturaleza de los cuerpos sólidos y fluidos.

Prop. I

La fluidez de un cuerpo no puede ser explicada como consecuencia de la división de la materia en partes simples muy sutiles cohexionadas levemente, tal como ha creído la mayor parte de los físicos desde que lo afirmara Descartes (2).



Imagínese un triángulo ABC, sección de una pila cónica de partículas esféricas muy pequeñas; este cúmulo no va a estar compuesto en su superficie por las citadas partículas del modo en que es indispensable que suceda en los fluidos. En efecto: al apoyarse las partículas *c, e, g, d, f, i* en las situadas más abajo *a, m n, h,* cualquiera de ellas reposa en el intersticio existente entre éstas y no perderá su posición

salvo en la medida en que desplace, por presión a las inferiores a derecha e izquierda; pero la fuerza *va* con la que la partícula de arriba presiona a la partícula *a* impulsándola hacia la derecha es, debido a la composición de fuerzas, sólo la mitad(3) de la gravedad *co*. Y esto vale para todas las aglomeraciones: es evidente que, estando el cúmulo sobre un plano, siempre que una fuerza cualquiera se oponga a los corpúsculos extremos *a* y *z*, se obtendrá una figura cónica y no horizontal, tal como ocurre en los relojes con la arena finísima o cualquier otra materia desmenuzada en un polvo similar.

Prop. II

Una acumulación de partículas, todo lo sutiles y levemente cohexionadas que se las quiera, al ejercer una presión lateral proporcional a la altura, no satisface la ley de la estática, y carece por tanto del carácter principal de la fluidez; a no ser que se presionen las unas a las otras mediante una materia elástica cualquiera por la acción de la cual pudiesen comunicar uniformemente hacia afuera el impulso de su peso en cualquier dirección (4).

En efecto, de la proposición precedente se deriva que para que las partículas amontonadas que se presionan de modo inmediato no ejerzan contra los lados una presión proporcional a la altura es necesario que otra materia cualquiera medie las partes elementales del fluido, a través de la cual puedan distribuir la fuerza de su peso hacia afuera en todas las direcciones. Pero cuando una materia es de tal naturaleza que, comprimida en alguna parte, intenta expandirse con la misma fueza hacia otro lugar, se la llama comúnmente elástica. Es necesario, pues, que las moléculas sólidas de los fluidos no se apoyen de modo inmediato, sino que lo hagan en alguna materia elástica entremezclada a ellos mismos, por cuya intervención cualquiera de las fuerzas que presione desde arriba se ejerza hacia los lados en la misma cantidad.

Habrá que probar a continuación que esa materia elástica que se interpone a los elementos de los cuerpos fluidos no es sino la materia del calor.

Prop. III

Los cuerpos sólidos no tienen cohexión a partir de moléculas de modo diferente a los fluidos, es decir, éstas no se hallan en contacto inmediato, sino cohexionadas igualmente mediante una materia elástica.

Los cuerpos fluidos, como se ha demostrado más arriba, tienen cohexión gracias a cierta materia elástica. Y puesto que los metales solidifican a partir de fluidos y cualquier cuerpo de este tipo ocupa siempre un volumen cada vez menor en la medida en que disminuye el grado de calor (haciéndose cada vez más compacto en

todas sus dimensiones en tanto que no les falte a sus elementos espacio para acercarse a los que les están más próximos), los cuerpos sólidos no son, pues, compactos por contacto inmediato de sus partes. Está claro que incluso ellos contienen, de algún modo, alguna materia entremezclada a sus partes, mediante la cual las moléculas sólidas, aunque remotas al contacto mutuo, también se atraen entre ellas recíprocamente, o, si se quiere, tienen cohexión, coincidiendo así, debido a ello, con los fluidos.

Prop. IV

La actividad de la citada materia, mediante la cual se atraen también los elementos de los cuerpos, por más que estén exentos de contacto mutuo, puede explicar los fenómenos de los cuerpos sólidos.

Los cuerpos sólidos, especialmente los que han solidificado a partir de fluidos, como los metales, el vidrio, etc., tienen esta particularidad que merece ser tenida en cuenta: que al soportar un peso, se distienden sin romperse; y del mismo modo que ceden a él cuando sus partes se relacionan con proximidad, pueden resistirlo cuando éstas están un poco distanciadas, alcanzando el grado máximo de extensión al soportar ya el máximo peso que pueden. Sostengo que este fenómeno verdadero no puede explicarse a partir de partículas sólidas que tienen coherencia de modo inmediato. En efecto, si un hilo metálico está compuesto por partículas, sea agrupadas como en el esquema 1, ya sea dispuestas en lo posible en los intersticios vacíos, según la figura 2, o bien a modo de paralepípedos que se tocan en superficies muy pequeñas, tal como lo indica la figura 3, de tal manera que al soportar un peso estén fuera de contacto al mediar los pequeños espacios *a, o, i,* etc. y sin embargo permanezcan unidas por el resto de la superficie.

Fig. 1.

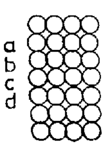


Fig. 2.

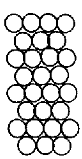
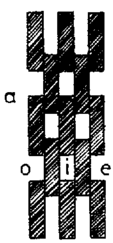


Fig. 3.



Parece evidente que si el peso soportado extiende en longitud el hilo metálico, aunque sea muy poco, en la figura 1 las partes serán separadas violentamente, puesto que apenas se tocan; y si se supone que, cuando se lleva a cabo la extensión en longitud, las partes dispuestas a los lados, como *a, b, c, d* se desplazan hacia el interior impidiendo de este modo la ruptura, sin embargo, como de esta manera disminuye un poco el grosor, mucho menos podrá, por consiguiente, resis-

tir el peso al que antes había cedido; y en el caso de la figura 3 tampoco hay que dudarlo: las partículas que se habían tocado antes en toda su superficie, como se tocan ahora sólo en una parte determinada, habrán de ser separadas por el peso completamente. Ahora bien, en todos los casos consignables el hilo no parece distenderse ni romperse. Así pues, resulta evidente que los elementos de los cuerpos sólidos no están en contacto inmediato, pues esto es contradicho por la experiencia, sino que se atraen a una distancia ya definida mediante cierta materia.

A partir de esta hipótesis mía pondré a prueba este fenómeno de los cuerpos sólidos según las leyes de la naturaleza y los principios de la geometría. Y efectivamente, si supongo que un cuerpo que solidifica a partir de un fluido adquiere una posición tal de sus elementos que, al impedir la materia elástica el contacto mutuo, tres de ellos configuren siempre un triángulo equilátero, según muestra la figura 4 (5) (realmente, si se contraen en un espacio mínimo siempre adoptarán tal posición), es necesario que, si el peso ponderado atrae este sistema de partículas según la dirección *ad*, la distancia de los corpúsculos *a* y *c* se haga mayor, como prueba la figura 5,

Fig. 4.

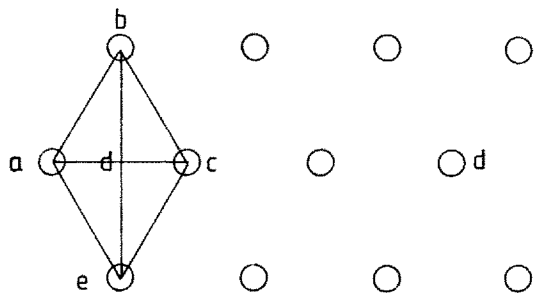
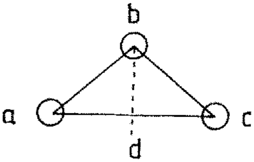


Fig. 5.



y que la distancia *ab* y *bc* se mantengan iguales a priori, puesto que el elemento b se aproxima al punto *d* en la medida en que forme con los puntos *a* y *c* (fig. 4) un ángulo mayor a *priori*. De este modo, si permanece intacta la densidad de la materia elástica intersticial (a causa de que el volumen del cuerpo extenso en particular no ha aumentado), las atracciones o, si se quiere, las cohexiones de las partículas *a* y *c* no serán disminuídas. Pero si se lleva a cabo la extensión o separación de las partículas *a* y *c*, la atracción de la partícula *b*, en la medida en que liga los elementos a y c, se vuelve proporcional a la línea *ad* (fig. 5), puesto que antes era menor

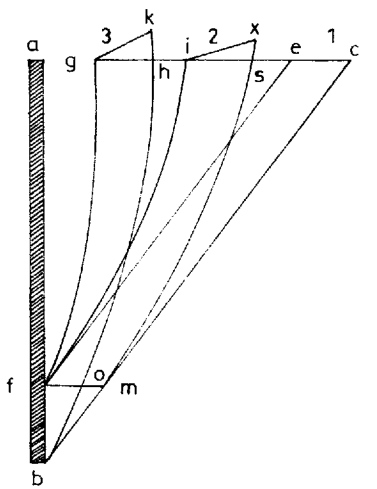
debido a que en el ángulo *b* de la figura 4 era menor. De tal modo que la fuerza con que las partículas son preservadas de la disrupción al tener lugar una dilatación, aumenta, y lo hace en razón directa de la línea *ad,* esto es, según la cantidad de la extensión.

Prop. V

La ley según la cual los cuerpos elásticos estudiados resultan comprimidos en espacios proporcionales a las fuerzas compresoras concuerda muy bien con la hipótesis alegada.

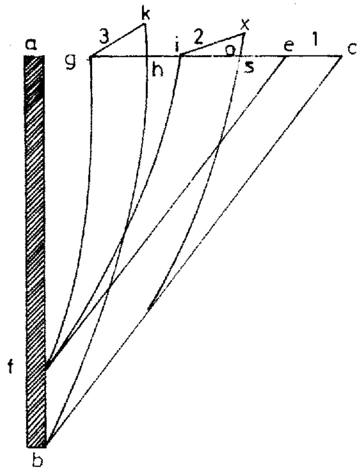
Lo que en los cuerpos sólidos se denomina vulgarmente compresiones, se designa normalmente con el término más apropiado de dilatación o extensión; lo cierto es que está claro que las materias sólidas son más difícilmente constreñibles en espacios más pequeños que el agua, por ejemplo. Sea el cuerpo elástico (6) *fecb* (fig. 1), firmemente inserto en la pared *ab* por *fb:* si es comprimido contra ella de tal manera que la posición del mismo sea *lxfb*, el lado externo *bc* del cuerpo elástico, al tensarse, resulta alargado en alguna medida debido a ello y puede esperarse que en esta posición la fuerza comprimente sea mayor en la medida en que ese lado resulte extendido; de donde se deduce que, mientras que las presiones sean livianas, las fuerzas con las que el cuerpo elástico es desplazado en un cierto espacio hacia la pared *ab* tendrían que ser, según nuestros principios, proporcionales a esos espacios.

Fig. 1.



Así pues, si el cuerpo elástico resulta reducido a la posición 2 por alguna fuerza compresora y desplazado, por tanto, a través del espacio *cs* hacia la pared más próxima, la sección *ec* cambia a la posición *ix.* Si se traza a lo ancho la línea *is,* resulta equivalente a *ec; if* es igual a *so* y a *cm (if=so=cm)* y *xo,* con *xs* en su extremo, una vez efectuada la extensión, es más larga que *cm;* además, si se sigue comprimiendo hasta la posición 3, siendo ahora el cuerpo elástico comprimido *gkfb,* una vez desplazada *gh,* seguirá siendo igualmente equivalente a *ec,* pero la cantidad de la extensión *kh* será mayor que la de *xs;* de donde parece demostrarse cómo la posición 3 requiere una fuerza comprimente mayor que la posición 2.

Fig. 2.



Tenemos que indagar ahora en qué razón se hallan las fuerzas opresoras a los espacios de compresión. En la posición 2, el margen *xb*, por más que esté algo curvado, puede sin embargo, en el caso de una compresión ligera, ser tenido por recto, e igualmente la línea *kb* en la posición 3; además, como se ha expuesto, la sección horizontal *ec* n.º 1 del cuerpo elástico pasa por los puntos *i* y *g* si es continuada, por lo cual, al resultar muy próximos en un grado de compresión leve, podría sostenerse aquello sin error. Así pues, al ser la sección del cuerpo elástico la misma que 1, en el triángulo *ixs* el ángulo *x* es igual al ángulo *c*, y el ángulo *s* es igual al vertical suyo *o*, así los triángulos *scb* y *ixs* son semejantes. De igual modo, en el triángulo *gkh* n.º 3 todo se halla en la misma razón con el triángulo *hcb*, y la argumentación avanza así secuencialmente:

$$ix : xs = bc : sc$$
$$kh : gk\ (= ix) = hc : bc$$

$$xs : kh = sc : hc$$

Esto es: las cantidades *xs* y *kh* en las que se ha distendido el margen externo del cuerpo elástico están en razón de los espacios de compresión *sc* y *hc*. Puesto que se ve claro a partir de la proposición IV que las fuerzas distendentes deben ser proporcionales a la cantidad de la distensión, es evidente en este caso que las fuerzas comprimentes del cuerpo elástico han de ser proporcionales al espacio de la compresión.

Estos asertos nuestros se apoyan especialmente en los que expuso De la Hire (7) en la *Monumentale Royale Académie de Sciences de Paris* en el año de 1705 acerca de la compresión de los cuerpos elásticos; si se examina el hecho mediante otra hipótesis cualquiera, la fuerza no quedará explicada de modo tan apropiado y congruente.

Corolario general

Así, pues, todo cuerpo, si no me equivoco, está formado de partes sólidas unidas a modo de vínculo por cierta materia elástica intercedente. Al estar entremez-

clada esta materia, las partículas elementales, aunque distantes al contacto mutuo, se atraen sin embargo por la acción de aquella y se reúnen ciertamente de un modo más compacto que como podrían hacerlo por contacto inmediato. Pues el contacto entre moléculas esféricas, al actuar la fuerza sólo en un punto, resulta infinitamente más débil que esa cohexión que se manifiesta en toda la superficie. Por esta razón, la posición de los elementos puede ser modificada manteniendo su cohexión, y al mismo tiempo es fácil explicar cómo al desaparecer, en parte, de los intersticios aquella materia que unía, los elementos pueden acercarse unos a otros y contraer el volumen; por contra, si se aumenta bien la cantidad bien la elasticidad de la misma, el cuerpo puede aumentar de volumen y las partículas retroceder a sí mismas sin pérdida de cohexión. Esto tiene mucha importancia para la teoría del fuego.

SECCION II

De la materia del fuego y las manifestaciones de la misma, el calor y el frío.

Prop. VI
Experiencia

El fuego prueba su presencia primero dilatando todos los cuerpos, tanto sólidos como fluidos, en todas sus dimensiones; después, debilitada poco a poco su cohexión, disolviendo la extructura de los mismos, y, por último, disipando sus componentes en vapores. El frío, por contra, disminuye el volumen de los cuerpos, consolida su cohexión, vuelve rígidos los dúctiles y flexibles y consistentes a los fluidos. El calor es provocado sobre todo en los cuerpos sólidos y resistentes bien por frotamiento bien por agitación. En ningún cuerpo puede crecer sin límites. Un cuerpo que se calienta nunca supera hirviendo el grado de ebullición, aunque al arder quemándose por entero pueda alcanzar mayor calor (8).

Me abstengo aquí de demostrar los fenómenos del calor, dignos, por lo demás, de la mayor atención, porque serán abordados en los que sigue en varios lugares.

Prop. VII

La materia del fuego no es sino esa materia elástica (descrita en la sección precedente) que cohexiona los elementos de los cuerpos de todo tipo, a los que está mezclada; y su movimiento ondulatorio o vibratorio es lo que se conoce con el nombre de calor.

En la proposición VI la experiencia muestra que un cuerpo cualquiera frotado o agitado se calienta y se dilata en todas sus dimensiones por igual. Y puesto que esto muestra la presencia de algo elástico contenido entre la masa de los cuerpos, que se enciende al expandirse mediante movimientos agitados, como, según se ha demostrado en la sección I, cualquier cuerpo tiene una materia elástica encerrada

en los intersticios, que sirve de nexo a las partículas, que se agita, además, con un movimiento ondulatorio y que puede manifestar todos los fenómenos del calor, parece que esta materia elástica no difiere de la materia del calor (9).

Esto mismo puede probarse a partir del fenómeno de la ebullición.

Los cuerpos licuados por el calor que son llevados a ebullición aumentando poco a poco el fuego, no son ya capaces, en este estado, de un grado mayor de calor, y emiten burbujas grandes y elásticas, de tal manera que van haciéndose iguales al peso de la atmósfera, y esto sin parar mientras persista el fuego. Como estas burbujas no contienen sino aire elástico y en el cuerpo saturado de calor no entra ninguna otra cosa salvo la materia del fuego, se plantea aquí la cuestión de por qué se emiten en el momento preciso de la ebullición, puesto que antes de la ebullición el calor había penetrado igualmente en el agua y sin embargo esto no se había manifestado entonces por burbujas de aire algunas. Se ve fácilmente que esa materia elástica, lo que llamamos fuego, que suponemos ahora, como ya hicimos más arriba, dentro de la materia del fluido incandescente, es retenida y comprimida por la atracción de las partículas, por mucho que el volumen se haya dilatado un poco, hasta tanto la cantidad de éste, unida a la vehemencia de la ondulación, no se haya hecho todavía mayor que la atracción de las partículas. Sin embargo, allí donde se ha fortalecido hasta tal punto que su impulso supera ya a su fuerza elástica, toda la materia ígnea sale de nuevo, a través de todo el fluído, por donde había entrado, libre ya de la elasticidad, demostrando ésto, en mi opinión, la compresión de la materia ígnea dentro de cualquier cuerpo caliente: no hay, pues, que dudar de la verdad de nuestra proposición.

Prop. VIII

La materia del calor no es sino el éter mismo (o materia de la luz) comprimido en los intersticios de los cuerpos por la fuerza enérgica de la atracción (o adhesión) entre los mismos (10).

En primer lugar, efectivamente los cuerpos, mientras más densos son, más cantidad de luz atraen, como ha demostrado Newton a partir de los fenómenos de la refracción y la reflexión, aventajando la fuerza de esa atracción a la solicitación de la gravedad diez mil billonésimas veces, según el cálculo, siendo inconmensurable antes del contacto (11). Como la materia de la luz es elástica, no puede dudarse de que pueda ser reducida, esto es, comprimida, por una fuerza inmensa en un espacio algo menor; y puesto que las partículas de los cuerpos encuentran la materia de la luz por todas partes, ¿qué hay de dudoso en suponer que esta misma materia elástica que habíamos reconocido en los mismos no sea otra que el éter?

En segundo lugar, se ha observado que esas materias que son extraordinaria-

mente eficaces para refractar la luz son además capaces del mayor grado de calor que pueda originarse mediante un fuego fuerte, de tal modo que ponen de manifiesto que esa atracción que se esfuerza en unir la luz a sí es la misma que retiene a esa materia ígnea unida a sí íntimamente. En efecto, los aceites, que refractan, esto es, atraen, los rayos de luz con una fuerza mucho mayor, según los experimentos de Newton y otros, que por la que lo harían según la específica gravedad suya, retrasan su grado de ebullición, como el aceite de trementina, etc., y por otra parte, esos mismos aceites son, a su vez, el alimento característico de las llamas, puesto que al diseminar la luz por cualquier sitio reponen la materia de la luz y del calor; lo que conviene, o mejor no difiere nada de lo probado.

Esto mismo se prueba a partir de la transparencia de los cristales.

Si se adopta la hipótesis que más concuerda con las leyes de la naturaleza y que defiende el muy eminente Euler (12), ciertamente la luz no es un efluvio del cuerpo luminoso, sino una presión, que se propaga, del éter disperso por todas partes, y se convendrá abiertamente la asociación, o mejor, identidad, del éter con la materia del fuego. Realmente, la sal del cinabrio, puesto que puede arder mucho tiempo y de modo intenso, debe contener en abundancia la materia del fuego unida a sí, y por eso allí donde se la mezcla con arena reparte por toda la masa del vidrio ese principio elástico del fuego; y como no es probable que un cuerpo tal que ha solidificado a partir de un fluido, sea cual sea el modo mediante el que se ha transformado, tenga siempre caminos abiertos y rectilíneos para que se transmita la luz, sino que es más acorde a la razón que el volumen del mismo esté lleno de materia propia, es evidente que puesto que el impulso de la luz se propaga, no obstante, por la masa del vidrio, debe haber mezclada a las partes del mismo la materia misma de la luz, que forma parte de la masa de éste. Y puesto que vimos que la materia del fuego constituye una parte no despreciable del vidrio y que está dispersa en abundancia entre los elementos sólidos del mismo, está fuera de dudas que la materia del calor es claramente la misma que el éter o elemento de la luz (13).

Prop. IX

El grado de calor puede ser medido, esto es, la proporción que mantienen los diversos grados de calor entre sí puede ser expresada en números (14).

Amontons (15), miembro celebérrimo de la *Académie Royale de Sciences de Paris*, fue el primero en resolver este problema. Como la fuerza del fuego se manifiesta en los cuerpos que arden, de modo característico, por una fuerza comprimente opuesta a esa acción de la rarefacción, no es contradictorio medir la cantidad de la misma.

Realmente, como el aire, ante un calor todo lo débil que se quiera, se ve obligado a ceder a una fuerza compresora y a quedar reducido a un volumen menor (hasta el punto de que puede suponerse con toda seguridad que toda su elasticidad la recibe del calor del sol), este hombre ilustre, apoyado en esta hipótesis, emprendió el proyecto de medir el grado de calor por la fuerza elástica del aire expuesto a este calor, esto es, por el peso que le es propio al susodicho bajo ese volumen.

Nota

Fahrenheit, según refiere Boherhaave (16), fue el primero en observar la peculiar característica de los líquidos que hierven al fuego: que a medida que aumenta el peso de la atmósfera, también lo hace el grado de calor al que hierven (17). Igualmente, Le Monnier (18), según el informe de la *Académie de Paris*, poniendo a prueba la altitud, midió con un termómetro de Réamur (19) el grado de ebullición del agua y el de congelación de la misma, primero en Burdeos y después en el vértice del monte Pic du Midi, donde el barómetro bajó 8 pulgadas de lo que marcaba en el primer lugar. Descubrió que el grado para el hielo era el mismo en ambas partes pero que el calor de ebullición era 15/180 de la distancia en la que la ebullición se apartaba de la congelación según lo medido en Burdeos con el barómetro marcando 28 pulgadas, hasta el punto de que el calor de ebullición de este lugar se eleva sobre el de las montañas en 1/12 parte del mismo, exceso que produce el aumento de peso atmosférico en casi 3 partes (20); de donde resulta claro que el peso de toda la atmósfera detrae al agua que hierve 1/4 del calor de la misma, alterando el grado de congelación y ebullición. Así pues, aunque el grado de calor del agua que hierve sea sin la presión del aire menor, si se añade el peso del mismo, el grado de calor aumenta, y como el peso de la atmósfera no actúa sobre ninguno de ellos si no es porque provoca un contrapeso al movimiento ondulatorio de las partículas ígneas cuando la atracción de los elementos mismos del agua no es ya suficiente para retenerlo, puede conjeturarse por tanto que el éter, que en el punto de ebullición se esfuerza en librarse del vínculo con el agua, es más potente que la fuerza de la elasticidad y es necesario que sea retenido mediante esa atracción de las partículas (o, si esta no es suficiente, por una fuerza externa compresora). Lo cierto es que puesto que según el citado Amontons los calores de congelación y ebullición difieren apenas en una tercera parte de éste y puesto que una cuarta parte del calor que media la congelación y la ebullición requiere una fuerza igual al peso de toda la atmósfera, se deduce que, para asegurar el equilibrio de todo el calor en la ebullición es necesario contar con un peso de 12 atmósferas y equiparar la atracción misma de los elementos del agua a 11 presiones del aire. Por lo que la atracción de los mismos en el punto de congelación puede poner de manifiesto en mayor medida la ingente atracción de los metales para comprimir el éter elástico.

Secondat (21), haciendo la misma observación, descubrió que la dilatación del agua era mayor en el monte citado, y menor en Burdeos, en razón de 1/24 de todo el volumen a 1/35, o mejor, si se hace el cálculo, en razón recíproca al peso de la atmósfera 20:28. Luego en este caso no tuvo lugar aquella famosa resistencia pertinaz del agua contra toda compresión, establecida por el experimento de la Academia Cimentina (22).

Prop. X

A partir de los asertos de nuestra teoría pueden ser explicados la naturaleza y causa de las exhalaciones o vapores.

Naturaleza de los vapores

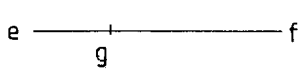
Las exhalaciones, que no son sino partículas húmedas que se han separado de las superficies de los fluidos y que flotan en el aire, tienen de por sí esta disposición natural peculiar, digna de ser observada de cerca. Y es que del mismo modo que las partículas de los fluídos homogéneos próximas al contacto se unen con avidez y se funden en una masa de modo natural, allí donde son impelidas con el debido grado de calor y disueltas en lo tenue de los vapores estas mismas partículas rehuyen el contacto y la asociación mutua y se repelen, por usar la palabra newtoniana; de manera que la fuerza inmensa con la que son comprimidos y atraídos nunca resulta suficiente para mantenerlos asociados. El vapor acuoso extraído por el fuego destruye incluso vasijas muy resistentes y todos los vapores en general, cada uno por su peculiar naturaleza, manifiestan siempre una elasticidad digna de admirar.

Causa

La razón de este fenómeno, en cuanto a mí me consta, aún no ha sido suficientemente estudiada por los físicos. Así pues, intentaremos indagarla.

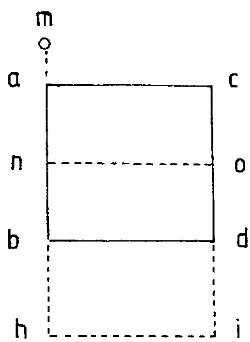
El vapor de agua está constituido por finísimas capas separadas de la superficie de ésta, que adoptan la forma de pequeñas burbujas apenas perceptibles mediante el microscopio. ¿Cuál es, pues, la causa que está a la base de que todas esas tenues burbujas, si son impelidas por un calor mucho más fuerte, rehuyan el contacto de esa manera? Al instante lo explico. En efecto, como según los asertos de esta teoría todos los cuerpos, y el agua no

No. 1.

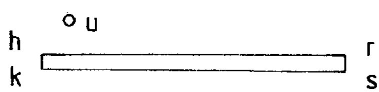


menos, retienen la materia elástica del éter comprendida en su masa y puesto que consta a partir de lo demostrado que esta atracción no se define sólo por contacto sino a una cierta distancia, resulta que las moléculas dejan de estar ligadas entre sí en ese punto de proximidad en el que la fuerza atractiva se equilibra por la fuerza repulsiva, consecuencia del movimiento ondulatorio del calor, aunque la atracción se extienda a un punto de distancia mayor. Esta distancia se espresa por la línea *ef* n.º 1, que debe suponerse muy pequeña, y sea la proximidad de las partículas de agua reunidas proporcional a la parte *ef.* Sea, además el paralepípedo *abcd* n.º 2 una porción de agua cuyo espesor constituya una cantidad pequeña, de manera que iguale a la línea *ef.* Puesto que, por la suposición del teorema, la atracción de los elementos del agua no puede ser mayor que la distancia *ab=ef,* si la partícula está situada en el punto *a,* será sensible a la fuerza atractiva de todos los elementos coordinados a lo largo de todo su espesor, uniéndose de modo tenaz tanto como lo permita la naturaleza del fluido; pero no se unirá a ellos de modo tan firme si se añade el aditamento *bhid* a esa sección de agua: efectivamente, si es desplazada al espacio minúsculo *am,* ya no es atraída por toda la sección, sino sólo por la parte *anoc,* puesto que apetece la reunión con una fuerza menor. Si se transforma el paralepípedo n.º 2 en otro mucho más fino, *hkrs* n.º 3, una partícula de agua en el punto *h* es atraída de un modo mucho más débil; y puesto que el éter mismo, que está encerrado en esta superficie, si se aumenta ésta, se libera en su mayor parte, es evidente que, en este caso, el elemento *u,* movido por el flujo y el reflujo del calor, ha de ser expulsado a una mayor distancia que la que debería resultar como condición *a priori* y porque la superficie haya sido menor, rehuyendo el contacto con una fuerza mucho mayor. Además, puesto que en esta figura la sección *hkrs,* abandonada a sí misma, se convertiría al instante en una figura globosa y al aumentar de ese modo su espesor por todos los lados, a la

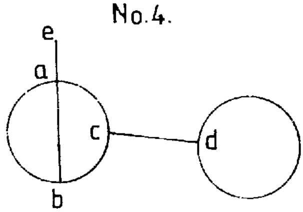
No. 2.



No. 3.



No. 4.



misma distancia, resistirá a la fuerza, mientras que antes se unía a otras, es necesario que, si debe adoptar el aspecto característico de los vapores, se configure con la forma de una burbuja (n.º 4), reducida a un diámetro *ab* y pequeña de espesor, de modo que la distancia de los puntos *a* y *b*, situados en las extremidades del diámetro, sea mayor que la distancia *be* a la que esos puntos descansan uno en relación al otro cuando la fuerza repulsiva del éter, si se ha extendido libre de los mismos, se iguala a la atractiva. Luego en este caso la burbuja busca la expansión y pasará a ser un elemento del vapor elástico, pero la distancia *cd* entre dos burbujas homogéneas será siempre igual al diámetro *ab*, como resulta de lo demostrado.

Prop. XI

Pasamos a indagar la naturaleza del aire y la causa del principio elástico en el mismo.

El aire es un fluido elástico mil veces más leve que el agua cuya fuerza expansiva es proporcional al calor y cuya expansión desde el frío del agua congelada hasta el punto de ebullición bajo el mismo peso de la atmósfera es aproximadamente 1/3 del volumen que corresponde al grado inferior de la misma. Estos fenómenos no tienen nada de especial que no sea propio ya de los vapores, excepto que a ese grado de frío en el que el aire conserva la elasticidad intacta los vapores se consolidan y no dan ningún indicio de fuerza expansiva. Pero si se había considerado que la sutileza de la superficie del vapor era la causa de que éste pudiese mostrar una elasticidad notable a un grado menor de calor es evidente que la fuerza de esta analogía no debe ser pasada por alto y rechazada a ciegas, pero poniendo a prueba mejor si no podemos abstenernos de multiplicar los entes deduciendo estos dos tipos del mismo principio. Los fenómenos que arrojan luz sobre la conjetura son los que siguen.

Todos los cuerpos que se han constituído a partir de partículas mínimas mediantes un principio oleoso o salino, por ejemplo, todas las plantas, el tártaro del vino, los cálculos de los animales, en general, todos los tipos de sales, sobre todo el nitro (23), dejan escapar grandes cantidades de aire (24) elástico si son impelidos por un fuego fuerte, tal como Hales (25) nos mostró en su *Estática* en mil experimentos sobre plantas; en el cuerno de ciervo constituye 1/2 de toda su masa, en la madera de la encina casi alrededor de 1/3, en el tártaro del vino de Renania 1/3, en el nitro 1/8, en el tártaro animal, esto es, en el cálculo del hombre constituye más de 1/2 de toda la masa. Es evidente que el aire extraído de estos cuerpos por la fuerza del fuego mientras formó parte de su masa, no tenía aún naturaleza de aire, esto es, no era fluido, siendo en su elasticidad proporcional a la densidad de ésta; pero al expandirse a un espacio mayor, con un impulso inevitable, debido a un calor incluso no muy grande, disuelve toda la estructura interna de los cuerpos. De tal modo que esa materia, que no era elástica, al ser expulsada de los intersticios de los cuerpos, una vez liberada,

presenta elasticidad. Ahora bien, como efectivamente esta misma es la característica de los vapores, puesto que, allí donde son separados de la masa a la que estuvieron unidos, manifiestan una fuerza elástica, si no hay que afirmar, al menos hay que establecer con la máxima verosimilitud que el aire no es sino el vapor mismo del ácido (26) liberado de los cuerpos que, puesto que es reducido a la máxima sutileza, cede fácilmente a cualquier grado de calor presentando una fuerte elasticidad.

No son efectivamente pocos los fenómenos que me confirman en esta sentencia. Efectivamente: ¿por qué el aire es expulsado sólo de aquellos cuerpos que contienen en sí no poco aceite u otro ácido cuando se queman? ¿No es este ácido ese principio activo y operante (27) que constriñe al éter mediante su atracción, como antes hice ver? ¿No es este principio el vínculo y una especie de cemento de aquellos cuerpos concretos? (un verdadero imán de la materia etérea que liga todos los cuerpos). Y allí donde este ácido es separado con dificultad de su estrechísima vinculación con la materia por la fuerza ingente del fuego, ¿no debe suponerse que se separa de ella dividido en pequeñísimas fracciones? ¿Y cuál es ese modo para que se discuta por esa razón que sea un fluido elástico, puesto que se expande rápidamente incluso a pocos grados de calor y que aumentando el frío cuanto se quiera (puesto que quién acaba nunca con todo el calor) no se condensa ni pierde elasticidad? (28). Así pues, el obstáculo que comprime aquellos vapores para que se condensen al menor frío y que era, según Hales, la causa de que las materias de todo tipo se muestren diferentes al expulsar el aire, a causa de la naturaleza de los vapores, aquí ciertamente no está presente. Por esto, en la investigación de los físicos se aventura la hipótesis de si el aire no será otra cosa que el vapor más sutil del ácido, diseminado por toda clase de sustancias, que manifiesta elasticidad por pequeño que sea el grado de calor.

Ciertamente, relacionando estas cosas con la cuestión inicial, es fácil ver por qué el nitro, tostado a fuego fuerte, libera grandes cantidades de ese aire elástico, puesto que el ácido, muy sutil, separado del resto, reducido a un vapor tenuísimo, se hizo aire mismo. Igualmente, es fácil de explicar por qué las materias que se resisten al fuego de un modo pertinaz producen y emiten la mayor cantidad de aire, por ejemplo, por qué el tártaro del vino renano produce más nitro, puesto que las materias que con gran esfuerzo y después de mucho tiempo liberan el ácido encerrado en sus amplexos, lo fragmentan en forma de superficies muy sutiles, de manera que se vuelva elástico y móvil, tal como el aire es, mientras que, por el contrario, el vapor que es emitido por ellas en abundancia se muestra más espeso, de modo que cuando el frío aumenta, no puede presentar elasticidad.

Acuerdo de las observaciones barométricas con la hipótesis.

A partir de esta hipótesis queda aclarada aquella tendencia natural del aire en la

mayor altitud que apenas resultaba explicable a partir del sentido común. En efecto, Maraldo, Casini (29) y otros descubrieron, según el testimonio de la *Monum. Ac. R. Sc. Paris,* que la ley de Mariott acerca de que la compresión del aire es proporcional al peso que lo presiona falla en las elevaciones más altas. Puesto que descubrieron que en ellas la densidad del aire era menor que la que, según esa ley, debería alcanzarse, comparada con la presión de las más bajas. De donde se deduce con evidencia que el aire situado más arriba no está constituído por partículas del mismo tipo, sólo que menos comprimidas, sino por elementos específicamente más leves en sí, puesto que bajo esa compresión se requiere más volumen para garantizar el mismo peso. Así pues, puesto que la naturaleza de la sustancia del aire es diversa en las distintas altitudes de la que en cualquier lugar de la tierra se encuentra constituída por elementos del mismo tipo, resulta evidente que ese tipo de elementos no se distingue de otro sino en la forma y naturalmente, según pienso, el humor ácido manifiesta que ha de haberlo; supuesto lo cual no es extraño que algunas partículas de tal vapor, (a causa del distinto espesor de la cutícula) sean más pesadas que otras y las leves ocupen un lugar más alto.

Prop. XII

Explicación de la naturaleza de la llama a partir de los asertos de nuestra teoría.

1. Naturaleza

La naturaleza de la llama es singular comparada con las demás clases de fuego.

Ningún cuerpo arde sino en la superficie, el alimento de la llama es el aceite y el ácido es el principio más propenso a favorecer el movimiento elástico.

La llama no es sino vapor que ha sido llevado a un estado de fuego tal que se agita con una luz viva y no se apaga sino por falta de alimento (30). Estas cosas son las que hacen que en cualquier lugar de la atmósfera la llama sea diferente de otra clase cualquiera de fuego: 1) que mientras que el calor, al calentar un cuerpo cualquiera inducido según las leyes de la naturaleza, disminuye al ser comunicado, la llama, por el contrario, adquiere en poco tiempo desde un origen muy pequeño una fuerza increíble y sin límites, con tal de que no le falte el alimento; 2) que el fuego que debe aplicársele a una materia cualquiera inflamable para calentarla y llevarla a ebullición es muy inferior al que ejerce al quemarse; 3) que arroja luz, mientras que otros cuerpos, excepto los metales, aunque se los caliente cuanto se quiera, permanecen sin embargo, desprovistos de luz.

Investigación de la causa

La razón de estos fenómenos, si no me equivoco, es ésta. La llama consiste en

un vapor que arde y la masa sólida de los cuerpos no se convierte toda en llama. Efectivamente, como el vapor de la superficie aumenta en la medida en que disminuye la resistencia que retiene la materia del fuego entre sus intersticios, es evidente que el movimiento ondulatorio que se ha originado a partir de un levísimo principio no sólo puede propagarse, sino también ser comunicado gradualmente a otra materia inflamable, aunque sea mucha, con igual intensidad. Y en efecto, aunque este fenómeno parezca a primera vista ofender las leyes fundamentales de la mecánica, según las cuales el efecto es siempre proporcional a la causa, sin embargo, si se examina con detenimiento, la primera solicitación, en forma de pequeñas chispas, para excitar la llama no hace nada diferente de lo que excita una partícula mínima del vapor inflamable en el movimiento ondulatorio de su elemento ígneo; a saber, que al estar poco contenido, se libera con gran esfuerzo y produce vibraciones que se propagan, extendiéndose la fuerza del movimiento a toda la masa.

Y no hay que sorprenderse de que el efecto de una causa pequeña sea en este caso inmenso, puesto que las partículas elásticas del éter, encerrado en los intersticios, que se liberan de la atracción provocan de este modo efectos que no reconocen propiamente la provocación de la llama que se acerca en tanto que causa; por contra, en efecto, dependen propiamente de la atracción del aceite cuya sutil división hizo posible que se liberase a sí mismo con gran violencia de la materia que lo encerraba. Pero, además, el vapor constituye un fluido con mucha capacidad para ondular a causa de las vibraciones libres del éter elástico no retenido y muy apto, a causa de la materia ígnea que arroja, tanto para calentar los cuerpos como para extraer luz de ciertos cuerpos encendidos que arden.

Conclusión

Pongo fin verdaderamente a esta obrita, apenas esbozada. No entrentendré por más tiempo con ella (ni con ninguna otra) a caballeros ocupados en trabajos más importantes y me encomiendo a mí mismo y a este opúsculo a la favorable voluntad y benevolencia de la Magnífica Facultad de Filosofía.

NOTAS A LA TRADUCCION

(1) La recomendación se encuentra al comienzo del apartado *De Igne* de los *Elementa Chemiae* (1732) de Boerhaave: "Necessarium propterea puto, ut caveamus maxime, ne, inquirentes in rei tam profunde abditae ingenium, fallamur usquam. Oportebit igitur abstinere quam severissime ab omni speculatione in sola mente nata, neque indulgere quam minimum ulli, utcumque plausibili, figmento, nulli servire precario assumtae sententiae: nisi velimus per dubia nos met incertos dare et praecipites... Igitur inquisituros, quid sit Ignis, decebit ita se gerere, ut qui nihil penitus de eo cognoscunt, omnemque etiam de eo praeconceptam opinionem prorsus abjicere. Sequi oportet Logisticam analysin Geometrarum, qui quaerentes rem incognitam nihil ponunt omnino in ea cogniti, utque memores maneant perpetuo, notam illa affigunt, qua significatur nihil, nisi quod incognita sit illa, atque deinceps indaganda". Pp. 126-127. Sobre la influencia de Boerhaave en la química del XVIII y otros aspectos de su obra (botánica, medicina, etc.) cf. G.A. Lindenboom (ed.): *Boerhaave and his Time.* Leiden, E.J. Brill, 1970 (*An. Boerh,* VI); Lindeboom, G.A.: *Herman Boerhaave, the Man and his Work,* Londres, 1968.

(2) Descartes, *Principia philosophiae* (1644), II, § 54-56.

(3) Kurd Lasswitz anota aquí en *Ak* lo siguiente, argumentando que esta descomposición de fuerzas no es correcta: "Diese Zerlegung der Kräfte ist nicht richtig. Auch beschränkt sich Kant auf die Anordnung, in welcher der Schwerpunkt der Kugel in einer Vertikalebene mit denen zweir darunter befindlicher Theilchen liegt, während doch im Allgemeinen eine Berürhrung auf mehreren Theilchen überhaupt eine Unbestimmtheit, wodurch unendlich viele Lösungen möglich werden". I, 563, 371 (29).

(4) "... se pueden explicar materias fluidas como materias en las que cada punto tiende a moverse él mismo en todas direcciones justamente con una fuerza igual a la de la presión que soporta en una dirección cualquiera. Esta es una propiedad en la que reposa la primera ley de la hidrodinámica". *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza,* Ak III,528 (18-21).

(5) Esta figura contiene la letra *d* dos veces.

(6) En el original, "elastrum". Del griego (το Ελχπτρον), lo que impulsa o es impulsado por algo, lo que conduce o transmite algo (Cf. *Thesaurus Graecae Linguae,* vol III. París, 1835 y *Greek- English Lexicon,* Oxford, Clarendon Press, 1925), puede traducirse por "cuerpo elástico" (Ελχπτικοσ-ν-ον: impulsor, transmisor, conductor, agitador). De la Hire usa esta expresión ("corps elastique") en su *Traité de Mecanique* (Paris, Imprimerie Royale, 1695), en el apartado dedicado a la misma cuestión que Kant aborda aquí *(De la résistence des solides,* pp. 471 y ss). La significación etimológica se transforma ligeramente en la mecánica para pasar a hacer referencia sobre todo a la propiedad que tienen algunos cuerpos de recuperar, al menos parcialmente, su forma o su volumen después de haberlos perdido: llámase elástico el cuerpo que puede recobrar más o menos completamente su figura y extensión después que cesa la acción de la causa que se las quitó.

(7) Kant se refiere a la comunicación que Gabriel Philippe de la Hire (1677-1719) hizo a la *Académie Royale des Sciences de Paris* del experimento de su padre, Philippe de la Hire (1640-1718), concer-

niente a la compresión de la luz *(Mémoires de la Académie* 1705, pp. 110 y ss). Este último, astrónomo, físico, naturalista y pintor, entró a formar parte de la *Académie Royale des Sciences de Paris* en 1768 y llegó a ser profesor del *Collège de France* y de la *Académie d'Architecture.*

(8) Este apartado relativo a los fenómenos mediante los que se manifiesta el fuego constituye un breve resumen de lo expuesto por Boerhaave en *Elementa Chemiae*, pp. 130 y ss.

(9) "Quare et cernimus, particulas Ignis per massam distributas, ubique in moleculas, quas occupant, eadem vi agere, neque ullam haberi molis rigidissimae duritiem adeo indomabilem, quin levissimi Ignis actione mollissima per totam massam sic mutetur, ut nulla illius pars non mutata persistat. 4.° Quid vero tandem aliud est ita extendi, quam in alia exire spatia, majora priori? ideoque inde deduco, partes istas toto hoc tempore motas fuisse assiduo in hoc excursu. Unde etiam facile patet, Ignem, cunctas durissimae eiusque molis partes, externa scilicet, internasque, movere in omnes dimensionem plagas, semperque eo magis, quo magis incitatus Ignis est, donec tandem omnes in fluidum denique redactas, fortiter commovet, permiscet, per omnia discutit". Boerhaave, *Elementa Chemiae*, II, 126.

(10) La identificación de la materia del calor (o materia de la luz) con el éter no se encuentra en Boerhaave. Berkeley la afirma en el *Siris*, coincidiendo con el primero en que es su extrema sutileza la que lleva a muchos a tenerla más como un espíritu que como un cuerpo *(Elementa Chemiae*, II, p. 126, *Siris*,&c). También es consciente Berkeley de que toda la tradición neoplatónica ha interpretado el éter y la luz de modo espiritual, entendiéndolos como principios de vida. Esa tradición es la que permite a Kant, según testimonian los *Träume*, hacer la hipótesis mistico-metafísica de un mundo espiritual extendido en el cosmos.

(11) El cálculo aparece en la edición de la *Optica* de Newton de 1706 al final de la Cuest. 30 del Libro III Parte I: "De esta proporción deduzco que la atracción de los rayos de luz es mayor que 1.000.000.000.000.000 veces la gravedad de los cuerpos en la superficie de la tierra... En el contacto mismo de los rayos, su fuerza puede ser mucho mayor aún". Kant añade un cero más al cálculo de Newton.

(12) L. Euler (1707-1783), matemático suizo que desarrolló su actividad en San Petersburgo, a donde fue llamado por Catalina II, y en Berlín, reclamado por Federico II para la Academia de esta ciudad. En "Opuscula varii argumenti" vol. I, en *Nova Theoria lucis et calorum* (1746), defiende la teoría de la ondulación de la luz frente a la teoría de la emisión de Newton, pp. 164-244.

(13) En la Ref. 20 de la sección de Física y Química del *Handschriftlicher Nachlaß* escribe Kant lo siguiente: "Licht und Warme scheinen sich, zu unterscheiden wie Schall und Wind..." *Ak* XIV, 65 (2-3). En L.Bl. 35 (*Ak* XXI) explica la diferencia: la luz es una *vibración* del éter, mientras que el calor es el *movimiento progresivo* de éste.

(14) *Elementa Chemiae*, II, 131-132, 152.

(15) Amontons, físico francés (París, 1663-1705) cuya obra *Remarques et Expériences physiques sur la construction de une nouvelle clepsydre, sur les baromètres, thermomètres et hygromètres* (1695) le supuso ser aceptado en la *Académie des Sciences* en 1699, construyó, entre otras cosas, termómetros de mercurio y de aire graduados, para los que utilizó como puntos fijos, por vez primera, las temperaturas de los cambios de estado de agua (Cf. *Remarques...*, pp. 148-150). En esto estriba la novedad de sus termómetros (novedad exclusivamente en la práctica, porque en la teoría, esos puntos de referencia ya habían sido propuestos por Sebastiano Bartolo en un libro póstumo publicado en 1679, la *Thermologia Aragonia, sive Historia naturalis thermarum;* en realidad, el primer termómetro con graduación se debe al médico Santorio Santorio (1561-1563), profesor de medicina en Padua, que había tomado como puntos fijos la temperatura de la nieve y la de la llama de una vela ardiendo.

(16). "... in ebulliente aqua... Thermoscopium hoc Mercuriale non adscendit amplius. Quod pulcherrimum sane viri solertissimi, Domini des Amontons, inventum, quo omnes sibi obstrictos reddidit Philosophos, ad oculum Vobis confirmatum patet; et sane undique, omni Experimentorum genere assidue in omni fere liquorum specie, assiduo stabilitur. Candor, quem pectori insidere meo velim, dum menti constabit meae sanitas, dictat, ut confitear coram Vobis palam, nihil quidquam plus mihi profuisse ad indagandam Ignis utilitatem ad Arcana Chemica, ad poprietates eiusdem perspiciendas, quam egre-

gium Nobilis Autoris Experimentum hoc ipsum. Vos adite fontem, laeti discite et grati, quae super hac re ipse commentatus est in monumentis Academiae Regiae Scientiarum. Inde enim discetis, Egregium hunc Virum re demostrasse, quod Aqua Igne colecta eo usque, ut vere ebulliat, dein auctiori Igne apposito quocumque nunquam adigi posse, ut plus calescat. Attamen hoc nobile Inventum notabili sane observatione amplificandum est, quam subtiliter invenit industrius Fahrenheitius. Ille enim detexit, quod calor aquae eiusdem ebullientis semper major sit constanti lege, quando ebullientis aquae superficies premitur graviori pondere Athmosphaerae; rursum idem calor diminuatur ebullienti aquae, quoties pondus Athmosphaerae incumbentis imminuitur. Igitur in gradu caloris aquae ferventis designando apprime necessarium esse, ut anotetur simul pondus aëris eo tempore in Barometro: quum aliter nihil certi scribatur. Dum interea verum omnino est, quod illa aqua, quae ebullit, dum Athmosphaerae pondus manet idem, nunquam plus caloris concipere possit augmento Ignis. Unde hoc modo emendata regula Amontonsiana semper vera habetur". *Elementa Chemiae*, 170-171).

(17) D.G. Fahrenheit (1686-1736), físico alemán que se consagró a la fabricación de aparatos, especialmente aerómetros y termómetros de alcohol. En 1715, sustituyendo el alcohol por mercurio, dió al termómetro su forma definitiva. Cf. *Phil. Trans.* (1724), pp. 1 y ss.

(18) P. Ch. Lemonnier, (1715-1799), astrónomo francés que ingresó en la Academia de Ciencias en 1736 y que tomó parte junto a Maupertuis, Clairaut y Camus, de la expedición al polo norte.

(19) Termómetro de Réaumur: Termómetro de espíritu de vino construido siguiendo las propuestas de Réamur (1683-1757) en su comunicación a la *Académie de Sciences* sobre las *Règles pour construire des Thermométres dont les degrés soient comparables, et qui donnent une idée d' un Chaud ou d' un Froid qui puissent être rapportés à des mesures connues.* Su idea directriz es la de definir el grado como una parte alícuota, la milésima, del volumen de espíritu de vino puesto en movimiento a la temperatura de la congelación del agua. Según sus trabajos, la proporción existente entre el espíritu del vino condensado por la congelación del agua y dilatado por la evolución de la misma sería de 1000 a 1080. Y hasta 1750 esta formulación fue interpretada como si Réaumur hubiese fijado la temperatura de la ebullición del agua en 80 grados. Por eso la expresión Termómetro de Reaumur pasó a designar instrumentos en los que la ebullición del agua se encontraba en el último intervalo de los 80 en que se dividía la escala.

(20) Cf. Boerhaave, *Elementa Chemiae*, "Credibile sane, validorem adhuc Ignem effecturum, ut magis iterum rarescat aër, sed pariter probabile habetur, nunquam in infinitum expansum iri, adeoque maximo in Igne aliquid semper aëris permansurum interim calore ebullientis aquae aëra expandi ad 1/3 prioris auctae molis, subtilissime collegit praeclarus Amontonius", p. 154. Cf. Amontons, *Remarques et Expériences physiques sur la construction d'une nouvelle clepsydre, sur les baromètres, thermomètres et hygromètres* (1695), p. 49.

(21) J.B. Secondat (1716-1796), barón de Montesquieu, agrónomo y naturalista francés, hijo de Montesquieu.

(22) Academia Cimentina o Academia del Cimento (Academia de la experiencia), fundada en 1657 por el Gran Duque de Toscana que en sus diez años de existencia se convirtió en una célebre institución especialmente por sus investigaciones en termodinámica. El experimento al que Kant hace referencia aparece reseñado en los *Elementa Chemiae* de Boerhaave: "Obstare quidem videbitur huic asserto speciosum Experimentum, quod Academici Florentini narrant in sua historia Experimentali, pp. 203-204. Dum scilicet globum cavum metallicum impletum accurate Aqua communi; deinde vero sollicitissime obturatum intra forte praelum compreserunt quam maxime, viderunt autem hac ratione Aquam, validissime pressam, instar sudoris transiviste per poros metalli, Enim vero sphaera, omnium corporum isoperimetrorum capacissima, non potest supra Aquam non compressilem mutari in alliam figuram vi praeli, quum partes cohaerentes metallicae a se mutuo recedentes reddantur tenuiores; dumque simul Aqua, adeo compressa, perterebrat quasi attenuate lamellae meatus, fieri potest, ut adeo distrahantur supra Aquam nulla vi condensandam, adeoque resistentia infinitae, laminae metallicae elasticae, ut prematur Aqua per dilatos metalli poros. Quando autem cessat pressio, vi propia contractici, iterum possunt se contrahere, porosque claudere prius factos", P. 560.

(23) Nitro: nombre vulgar del nitrato potásico, dado también en la antigua química a un gran número de sales metálicas. También se lo denominaba sal de nitro o salpetre.

(24) Como ya indicamos en la introducción, el problema del aire fue uno de los que hicieron variar los límites de la química en el s. XVIII. La mayoría de los químicos de este siglo lo consideraban simplemente como un instrumento en las transformaciones químicas, pero no como un elemento material capaz de intervenir como reactivo. Sin embargo, Mayow y Hales en Inglaterra, después de realizar pacientes investigaciones sobre el gas, hicieron descubrimientos muy importantes que fueron el punto de partida del brillante éxito de la química pneumática, que sostenía la materialidad del aire. A pesar de ello, la "química newtoniana" no tuvo en cuenta la tesis de la materialidad del aire. Boerhaave no la afirma en sus *Elementa* y Fourcroy, discípulo de Lavoisier, se quejaba de que "Stahl, contemporáneo de Hales, habiendo publicado algunas obras sobre la estática de los vegetales, no prestase ninguna atención a sus experiencias, pareciendo incluso ignorar sus descubrimientos y, en general, no tuviese en cuenta el aire y sus efectos en los fenómenos de la naturaleza y la química" (*L' Encyclopédie méthodique*). Al respecto del aire, afirma Hales: "Since then air is found so manifestly to abound in almost all naural bodies; since we find it so operative and active a principle in every chemical operation, since ist constituent parts are of so durable a nature, that the most violent action of fire, or fermentation, cannot induce such an alteration of its texture, as thereby to disqualify it fromm resuming, either by the means of fire, or fermentation, its former elastick state; unles in the case of vitrification, when with the vegetable sat and Nitre, in wich it is incoporated, it may perhaps some of it with other chymical principles be immutably fixt: since then this is the case, may we not with good reason adopt this now fixt, now volatile *Proteus* among yhe chymical principles, and that a very active one, as well as acid sulphur; notwithstanding it has hitherto been overlooked and rejected by chymists, as no way intitled to that denomination?" Hales, *Vegetable Staticks* (1727), p. 315.

(25) Hales, Stephen (1677-1761): químico y naturalista inglés (miembro de la *Royal Society* de Londres desde 1717 y de la Académie des Sciences desde 1753) que dedicó sus investigaciones a la fisiología de las plantas y de los animales. Sus experimentos relativos al *fixed air* supusieron la fundación de la química pneumática británica y estimularon los descubrimientos de Joseph Black, Henry Cavendish y Joseph Prietsley. Hales hizo del aire un principio químico fluido, compuesto de partículas con infinitos grados diferentes de elasticidad, que sería el responsable, por su carácter activo, de la conservación del movimiento en la naturaleza. Según la *Ak*, Kant había leído ya en 1754 su *Vegetable Staticks* en la traduccuón francesa de Buffon de 1735 (*Ak*,544). La primera edición de la obra, de 1727, dedicaba el capítulo 7 a la cuestión química "The Analysis of Air"; la traducción de Buffon contenía además el apéndice añadido por Hales a la edición de 1733, con observaciones relativas al movimiento de los fluidos en las plantas y siete nuevos experimentos adicionales sobre el aire. C. Wolff hizo también dos traducciones de la obra: *Statick des Gewäsche* (Halle, 1747), a la que añadió un prefacio suyo y *Statick des Geblüts* (Halle, 1748), la primera parte de la cual era la traducción de la *Haemastaticks* añadida por Hales en 1733 a la *Vegetable Staticks*, siendo la segunda la de esta última.

(26) Véase texto de Hales en n. 24.

(27) Para Hales, p. ej., es el aire el principio activo que conserva el movimiento en la naturaleza. *Vegetable Statiks*, p. 315.

(28) "L' expansion ou la forme élastique est tellement propre à l' air, lui est tellement essentielle qu' il puisse, dans aucun cas, ni par lui même ni par d' autres melanges, se condenser et prendre une veritable solidité". Fourcroy: *Experimenta, observationes et animadversiones*, § 7.

(29) G.F. Maraldo (1665-1729), J. Cassini (1677-1756): "Sur les règles de la condensation de L'air", *Mémoires de l'Académie de Paris* 1705, p. 61-74.

(30) Se llaman *alimentos del fuego* aquellos cuerpos que son consumidos completamente por él y que en el momento en que se agotan, lo apagan. Boerhaave, *Elementa Chemiae* pp. 285 y ss.